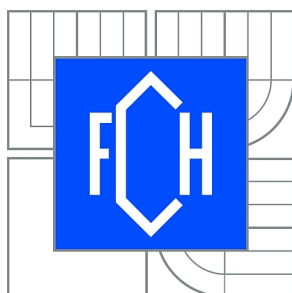




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA CHEMICKÁ
ÚSTAV CHEMIE MATERIÁLŮ**

FACULTY OF CHEMISTRY
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE

SANACE BETONOVÝCH PODLAH ALKALICKOU CESTOU

REINSTATING OF CONCRETE FLOORS ON ALKALIC WAY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ STRADĚJ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ OPRAVIL, Ph.D.

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce:	FCH-BAK0614/2010	Akademický rok: 2010/2011
Ústav:	Ústav chemie materiálů	
Student(ka):	Tomáš Straděj	
Studijní program:	Chemie a chemické technologie (B2801)	
Studijní obor:	Chemie, technologie a vlastnosti materiálů (2808R016)	
Vedoucí práce	Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.	
Konzultanti:		

Název bakalářské práce:

Sanace betonových podlah alkalickou cestou

Zadání bakalářské práce:

Cílem práce je navrhnout a prověřit sanační účinky různých směsných alkalických systémů jako sanačních prostředků pro sanaci poškozených betonových podlah či jiných výrobků z betonu.

Termín odevzdání bakalářské práce: 6.5.2011

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

Tomáš Straděj
Student(ka)

Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.
Vedoucí práce

prof. RNDr. Josef Jančář, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 31.1.2011

prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce pojednává o sanaci betonových podlah alkalickou cestou. Z části se věnuje betonu, jeho přípravě, výrobě, použití a látkám ze kterých je vyroben. V druhé části se práce věnuje pojivovým systémům na bázi portlandského cementu, aplikací betonových podlah a možnostmi jejich sanace alkalickou cestou. V práci je uveden návrh postupu na sanace podlahy a je zde popsán laboratorní experiment. Poslední část obsahuje poznatky z praktického měření a vyvození závěru o vhodnosti použití sanačních metod a prostředků pro betonové podlahy různými alkáliemi a jejich kombinacemi.

ABSTRACT

The work deals with the reinstating of concrete floors by alkali way. The section deals with concrete, its development, production, use, and substances from which it is made. The second part deals with connective systems based on portland cement concrete flooring applications and possibilities of their reinstating through alkaline. The thesis proposal for the reinstating of the floor and describes the laboratory experiment. The last part contains information of practical measurements and conclusions drawn regarding the suitability of repair methods and resources for concrete floors different alkali and their combinations.

KLÍČOVÁ SLOVA

Betonové podlahy, cement, beton, pojivové systémy, stavební pojiva, mechanické vlastnosti betonu, alkalická aktivace, sanace, geopolymery

KEYWORDS

Concrete floors, cement, concrete, binder systems, construction binders, the mechanical properties of concrete, alkali activation, reinstate, geopolymer

STRADĚJ, T. *Sanace betonových podlah alkalickou cestou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 33 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem citoval správně a úplně. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....
podpis studenta

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Opravilovi za odborné rady a pomoc při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat ústavu VOP – 026 Brno za poskytnutí měřících přístrojů a výpomoci při měření.

OBSAH

1. ÚVOD	4
2. TEORETICKÁ ČÁST	5
2.1. Průmyslové podlahy.....	5
2.1.1. Betonové podlahy	5
2.1.2. Možnosti poškození betonové podlahy.....	9
2.1.3. Sanace betonových podlah	12
2.2. Anorganická pojiva.....	13
2.2.1. Stavební pojiva	14
2.2.2. Beton	17
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	22
3.1. Použité suroviny	22
3.2. Příprava vzorků	22
3.3. Laboratorní přístroje a metody měření	23
3.3.1. Laboratorní míchačka	23
3.3.2. Persozovo kyvadlo.....	23
3.3.3. Tužky.....	24
3.4. Stanovení tvrdosti povrchu	24
3.4.1. Stanovení povrchové tvrdosti tužkami	25
3.4.2. Stanovení povrchové tvrdosti metodou útlumu kyvadla (Persozovou metodou)	25
4. VÝSLEDKY A DISKUZE	27
4.1. Vzorky	27
5. ZÁVĚR.....	31
6. POUŽITÁ LITERATURA	32

1. ÚVOD

Nedílnou součástí moderních průmyslových staveb jsou podlahy. U těchto stavebních prvků, je poměrně široká materiálová základna. Nejčastěji jsou používány podlahy betonové, a to z betonu prostého, železového, předpjatého a i drátkobetonu, případně vláknobetonu. Podlahy jsou konstruovány jako desky se spárami, nebo jako podlahy bezespáré.

Problematika návrhu podlahy bývala v minulosti často považována za ne příliš důležitou, avšak výskyt mnoha závad poukazoval na důležitost správného projekčního řešení a důsledného provedení, neboť následné sanace jsou velmi nákladné a z provozního hlediska i těžko proveditelné z důvodu nutnosti omezení využití podlahy. Návrh správně fungující a ekonomicky přijatelné podlahy je složitou inženýrskou činností, která vyžaduje znalosti z několika oborů, především z mechaniky zemin a betonového stavitelství.

Finální vzhled a kvalita průmyslové podlahy závisí na mnoha faktorech, z nichž většinu lze příznivě či nepříznivě ovlivňovat návrhem a následným zkonstruováním podlahy. Aby bylo vůbec možné k navrhování přistoupit, je potřeba vytýčit vstupní požadavky. Čím obsáhlejší bude seznam požadavků, tím efektivněji a za přijatelných ekonomických podmínek lze podlahu provést.

Betonové podlahy se používají v zemědělských objektech, výrobních průmyslových halách, skladech, chodbách, prodejnách, podzemních garážích, ale také v objektech občanských. Tato práce se zaměřuje na sanaci poškozených betonových podlah, formou nové vrstvy aplikované nátěrem nebo postřikem, popřípadě litím na původní poškozenou podlahu.

Sanace betonové podlahy je částečné nebo úplné nabytí původních vlastností a tvaru betonové podlahy. Přestože je beton díky svým neobvyklým vlastnostem jedním z nejpoužívanějších a nejtrvanlivějších stavebních materiálů, je nezbytně nutné se zabývat jeho ošetřováním a ochranou. Na betonové podlahy může působit celá řada činitelů, které nepříznivě ovlivňují jejich životnost.

K vnějším činitelům, které negativně ovlivňují trvanlivost podlah, patří zejména fyzikální účinky (mrazové cykly, náhlé změny teplot a vlhkosti), dále mechanické účinky (obrušování), ale také chemické účinky (koroze betonu, koroze výztuže). K vnitřním činitelům patří například objemové změny a alkalická rozpínavost. Další skupinou faktorů ovlivňujících trvanlivost podlah jsou tzv. konstrukční činitelé jako statické nebo dynamické přetížení podlahy.

Výsledkem těchto nepříznivých faktorů jsou pak poruchy projevující se zejména vznikem trhlin, ztrátou soudržnosti betonu a výztuže, erozí postupující od povrchu a v konečném důsledku ztrátou pevnosti a rozpadem betonu, aby bylo možné účinně opravovat poškozené podlahy, studuje tato práce jednu z možností jak podlahy sanovat alkalickou cestou. [8, 16]

2. TEORETICKÁ ČÁST

Tato část práce pojednává o průmyslových podlahách, jejich výrobě, využití a o surovinách ze kterých se vyrábí. Dále poukazuje na reálné možnosti poškození těchto podlah a způsoby jejich opravy v praxi.

2.1. Průmyslové podlahy

Průmyslové podlahy jsou využívány především tam, kde je potřeba vysoké mechanické a chemické odolnosti, dokonalé čistitelnosti (operační sály) a bezesparosti. [17]

Průmyslové podlahy jsou k nalezení nejen v průmyslových sektorech, ale také ve veřejných budovách. K vidění bývají i v nemocnicích, kancelářích, obchodech, skladech apod. Významné pozitivum pro průmyslové podlahy je jejich vysoká zvuková a tepelná izolace. Podlahy jsou odolné vůči UV záření a kapalinám jako jsou např. běžné kyseliny, motorový olej, nafta a rozpouštědla. [17]

Jedním z nejlevnějších materiálů na podlahy je beton. K dalším zajímavým materiálům patří lité teraco, směs mramorové nebo žulové kamenné drtě, smíchané s betonem. [11]

2.1.1. Betonové podlahy

Betonové podlahy jsou momentálně nejrozšířenějším typem podlahových konstrukcí, které splňují většinu požadavků kladených investorem. Tyto podlahy jsou vyráběny na základě předepsaných parametrů od projektantů. Před zhotovením podlahy je nejprve potřeba zjistit příslušné statické výpočty, které zahrnují především znalost podloží a zatěžovací charakteristiky. [12]

Na první pohled je betonová podlaha řešením, které původně mohlo být zvoleno z nouze, vzhledem k vysokým nákladům na položení běžné podlahové krytiny, ale ve finále je beton nejen atraktivní, finančně přijatelnější ale i funkční. [11]

Betonové podlahy byly v minulosti využívány především v průmyslových objektech, garážích nebo administrativních budovách. Dnes jsou však díky jejich přednostem stále častěji používány i v našich domovech. [11,8]

Monolitický beton se začal hromadně používat při lití průmyslových podlahových desek nejprve u průmyslových, inženýrských staveb, později i v občanských stavbách, poprvé v USA a od konce 19. století, v Anglii, USA a Německu. Již od poloviny 19. století se začala používat při betonáži mechanicky silně zatěžovaných podlah technologie, z které se ve 20. století vyvinula nejpoužívanější technologie v oblasti průmyslových podlah a to betonové podlahy se vsypovou povrchovou úpravou. Tyto podlahy se rovněž nazývají pancéřové nebo také vsypové podlahy. Jejich výhodou je rychlé provedení celé konstrukce betonové desky najednou a vysoká odolnost vůči obrusu podlahy provozem. Nevýhodou je nízká pružnost, částečná nasákavost, vyštipování povrchu při pádu břemen a nulová odolnost vůči kyselinám. Betonová podlaha je v naší zemi stále dosti vzácná, za hranicemi je však poměrně oblíbenou podlahovou krytinou. [11]



Obr. č. 1

Betonová podlaha v domácnosti [11]

Typickou skladbu průmyslové betonové podlahy znázorňuje obrázek č. 2:



Obr. č. 2

Skladba průmyslové betonové podlahy

Nutné vrstvy pro splnění základní funkce průmyslové podlahy jsou rostlá zemina, podkladní vrstva a nosná deska, zatímco vrstva stabilizované zeminy, kluzná spára a povrchová úprava nejsou nezbytně nutné. Vrstva stabilizované zeminy není nutná, v situaci kdy je původní zemina dostatečně kvalitní. Jestliže původní zemina je nekvalitní, bude tuto vrstvu tvořit dovezená zemina. [8]

Výroba betonových podlah

Beton, který se využívá na výrobu podlahy je běžný podkladní beton, důležitá je však pečlivost nanášení betonu a jeho uhlazování při konečné úpravě. Minimální tloušťka podlahy je 80 mm, doporučuje se však 100 – 120 mm. Průmyslová podlaha o menší tloušťce musí být složitě pomocí kotev spojena se stávající betonovou konstrukcí. [9,11]

Většina podlah se zhotovuje tak, že se mezi dvě trubky nasype betonová směs, která je následně zhutněna údery dřevěného hladítka. Směs se dále urovná strhávací latí, pokropí se vodou a dřevěným hladítkem se vytáhne na povrch cementový tmel. [11]

Drátkobeton je další možností použití, jedná se o beton do kterého jsou přidány ocelové drátky, zachycující síly objemových změn betonu při jeho zrání a zabraňují tak jeho popraskání. Takový beton by měl obsahovat alespoň 40 kg drátků na jeden metr krychlový. [11]

V poslední době získávají na oblibě lité samonivelační anhydritové podlahy. Anhydrit (bezvodý síran vápenatý) je minerál různých barev (šedý, bílý, fialový...). Tato podlaha, se na

rozdíl od klasické betonové podlahy aplikuje ve velmi tekutém stavu, což je velkou výhodou. Ušetří spousty práce a podlaha se v tekutém stavu vyrovná sama, což zaručuje vznik absolutně rovné plochy. Anhydrit, smíchaný s vodou, pískem a dalšími přísadami vytvoří vysoce tekutou hmotu, která do 24 hodin ztvrdne tak, že se po ní dá chodit a po 4-5 dnech ji lze už plně zatížit.[11]



Obr. č. 3

Litá anhydritová podlaha [18]

Stručný postup výroby klasické betonové podlahy

Betonová směs (budoucí průmyslová podlaha) se rozprostře v ploše (viz. Obrázek č. 4).



Obr. č. 4

Rozprostření betonové směsi

Pomocí laserového nivelačního přístroje se povrch průmyslové podlahy zniveluje. Nejdříve je však nutné zajistit armování podlahy. Armování se používá buď klasické (KARI síť) nebo za použití drátkobetonu (viz. Obrázek č. 5). Může být i kombinací obou těchto variant.



Obr. č. 5

Armování za použití drátkobetonu

Budoucí betonová podlaha se dále zvibruje plovoucí vibrační latí (viz. Obrázek č. 6). Kvalita plošného vibrování je velmi důležitá pro budoucí vlastnosti podlahy. U špatně zvibrované podlahy vystupuje napovrch drátková výztuž a omezuje životnost průmyslové podlahy.



Obr. č. 6

Vibrování podlahy za pomoci vibrační latě

Dále přichází proces hlazení, který je několikrát opakován strojními rotačními hladíčkami, které zajišťují vysoký stupeň konečné mechanické úpravy průmyslové podlahy. Průmyslová podlaha dostává konečný vzhled.



Obr. č. 7

Finální podoba průmyslové podlahy

Bezprostředně po dohlazení je aplikován ošetřující a vytvrzující penetrační postřik, který zvyšuje mechanické vytvrzení povrchové vrstvy průmyslové podlahy, sníží nasákavost, zajistí neprašnost a zabrání přeschnutí nášlapné vrstvy průmyslové podlahy. Proces probíhá nepřetržitě cca 40 hodin. V několika budoucích hodinách či dnech (v závislosti na klimatických podmínkách) je provedeno dilatování pomocí bezprašného řezání čerstvého betonu (viz. Obrázek č. 8).



Obr. č. 8

Řezání čerstvého betonu

Průmyslová podlaha je dokončena. Následuje zraní podlahy, která trvá 21-28 dnů. Po této době může být průmyslová podlaha plně zatížena. [9]

2.1.2. Možnosti poškození betonové podlahy

Zatížení podlah

1. Rovnoměrná plošná zatížení [kN/m²] ... rovnoměrné zatížení, které působí na velkých plochách. Kdyby bylo po celé ploše podlahy stejné plošné zatížení (vlastní tíha desky a podlahové úpravy), nebylo by vyvozeno žádné větší namáhání. Zatížení jsou však uspořádána většinou v pruzích (skladovací haly), mezi kterými se nachází nezatížené uličky umožňující dopravu. Právě uprostřed těchto uliček vzniká záporný ohybový moment. [21]

2. Rovnoměrná liniová zatížení [kN/m] ... zatížení od příček a stěn, nebo od pohyblivých regálů. [21]

3. Osamělá břemena [kN] ... zatížení tvořené dvěma skupinami – tlaky kol, která vyvozují i dynamické účinky a statickými tlaky noh regálů. Kromě ohybových momentů se u velkých sil působících na malé ploše musí ověřit i protlačení podlahou. Nejhorší účinky z hlediska namáhání podlahy vykazuje břemeno umístěné v rohu desky. Pokud je to možné, je třeba se těchto zatížení vyvarovat. [21]

4. Nesilová zatížení ... Jde především o účinky smršťování, konečné úpravy betonu a o zatížení změnami teplot. [21]

5. Kontaktní napětí [kPa] ... Povrchové napětí, které vzniká pod lokálním zatížením. [21]

6. Horizontální zatížení [kN] ... Zatížení vzniklá např. rozjížděním a brzděním vozidel. [21]

Smršťování

Pojem smršťování betonu je obvykle používán ve spojitosti s vlhkostními objemovými změnami, či hydratačními objemovými změnami. Vlhkostní objemové změny, které jsou způsobeny úbytkem vlhkosti, respektive smršťování při vysychání. Rozděluje se podle doby, kdy je beton změně vlhkosti vystaven. V případě vyzrálého betonu nepředstavují žádné riziko, ale při zrání betonu je situace opačná, jelikož se jedná o nevratnou objemovou změnu. U obvyklých betonových směsí se při standardních podmínkách (v tzv. normálním laboratorním prostředí) smršťování pohybuje na úrovni přibližně 0,7 mm/m. V případě jemnozrnných nebo nevhodně složených směsí však nejsou zcela výjimečné ani hodnoty okolo 2,5 mm/m.[10]

Hydratační objemové změny jsou vyvolány chemickou reakcí cementu s vodou, protože hydratační produkty v systému portlandský cement a voda mají objem významně menší, než je objem nezhydratovaného portlandského cementu a vody vstupující do reakce. Toto tzv. chemické smrštění dosahuje značných hodnot. Uvádí se, že pro úplnou hydrataci 1 kg portlandského cementu je potřeba zhruba 250 g vody. Výsledný hydratační produkt pak je menší o přibližně 60 ml (tj. přibližně o krychli o hraně 40 mm). [10,19]

Změna vnějších rozměrů prvku, způsobená chemickým smrštěním, se nazývá autogenní smrštění. Přímý vztah mezi velikostí chemického smrštění a velikostí autogenního smrštění bohužel neexistuje a je závislý na konkrétním typu cementu a na složení betonové směsi (například vodním součiniteli). Autogenní smrštění může být významné zejména u betonů s velmi nízkým vodním součinitelem, které vykazují relativně malé smrštění v důsledku ztráty vlhkosti. Například pro vysokopevnostní beton s vodním součinitelem nižším než 0,3 se uvádí autogenní smrštění na úrovni přibližně 0,2 až 0,4 mm/m. [20]

Pro většinu podlahových konstrukcí v průmyslových objektech, které jsou tvořeny železobetonovými deskami představuje smršťování betonu v době jeho zrání jedno z největších rizik vzniku závažných poškození a poruch. Typickými projevy jsou zejména trhliny a tzv. zkroucení desek, při kterém se nadzdvihnou rohy a hrany smršťovacích polí. [10]

Alkalicko –křemičitá reakce v betonech (AKR)

Vznik, průběh, podstata a následky AKR

Pojmem alkalická reakce v betonu rozumíme celý soubor složitých fyzikálně chemických reakcí mezi částicemi reaktivního SiO_2 v kamenných součástech a alkalickými roztoky v betonu. K této reakci je kamenivo náchylné především ve spojení s cementy, které jsou bohaté na oxidy alkálií – Na_2O ekvivalentní ($0,658 \cdot \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$), tzv. vysokoalkalickými cementy. Obsah alkálií v cementu je velice proměnlivý a závislý na mnoha faktorech, především na minerálním složení výchozích surovin, slinku, přísad a na technologickém procesu výroby. Dle obsahu Na_2O ekv. se cementy dělí na:

- nízkoalkalické $< 0,60 \text{ \% Na}_2\text{O}$ ekv.
- středněalkalické $0,60 - 0,90 \text{ \% Na}_2\text{O}$ ekv.
- vysokoalkalické $> 0,90 \text{ \% Na}_2\text{O}$ ekv.

Mimo přísunu alkálií z cementu, je i možnost přenosu alkálií z vnějšího prostředí a to zejména z některých hornin, které mohou být zapojeny do alkalické reakce stejným způsobem jako alkálie z cementu. [22]

Aby alkálie mohly reagovat s kamenivem, musí být splněny tyto základní podmínky:

- přítomnost reaktivní formy SiO_2 (např. opál, tridymit, cristobalit, chalcedon, křemence atd.), následně záleží také na množství a velikosti těchto reaktivních kamenných součástí
- vyšší množství obsahu alkálií v betonu (cementu) – vyšší než $0,6 \text{ \% Na}_2\text{O}$ ekv., resp. více než $3,0 \text{ kg Na}_2\text{O}$ ekv. na 1 m^3 betonu,
- optimální, tzn. vysoká vlhkost betonu.

Je pravděpodobné, že v případě, kdy budou splněny všechny tyto podmínky, dojde k reakci mezi alkáliemi, které jsou obsaženy v cementu a škodlivými kamennými součástmi. Výsledek této reakce je tvorba alkalicko-křemičitého gelu a vznik osmotického tlaku. Tímto způsobem se dají zjednodušeně popsat příčiny AKR, skutečnost je však daleko složitější a mnohdy pro ní neexistuje zcela přesné vysvětlení nebo se liší názory na její průběh. Problematika AKR je opravdu velice složitá a mnohdy spleťtá, důkazem toho je i zkušenost, že vysoký obsah alkálií v cementu, přítomnost reaktivní složky SiO_2 v kamenivu a dostatečně vysoká vlhkost nemusí nutně vést k tomu, aby AKR i po splnění všech jejích předpokladů proběhla nebo způsobila poruchy v betonu. S ohledem na to, že byla prokázána reakce alkálií s kamenivem i při kontaktu reaktivních kamenných součástí s cementem obsahujícím malé množství alkálií, byl učiněn závěr, že ke stanovení velikosti rozpínání betonu je rozhodující nikoliv celkový obsah alkálií, ale poměr množství alkálií k reaktivním kamenným součástem. Reaktivní kamenné součásti přítomné ve značném množství a vysokoalkalický cement mohou pro beton znamenat menší rozpínání, než kamenné součásti obsahující jen malé množství reaktivní složky a nízkoalkalický cement. [22]

Pokud je v hrubém kamenivu přítomen reaktivní SiO_2 , vzniká gel a první trhliny uvnitř zrn, které se šíří k povrchu zrn reaktivního kameniva. Dále postupují trhliny po povrchu zrna v kontaktu s maltou a nakonec maltou k povrchu betonu. V této fázi se znatelně zvětšuje objem betonu, z počátku většinou bez pouhým okem viditelných trhlin. U vyztužených konstrukcí se

zvyšuje tahové napětí v betonářské výztuži. Během rozpínání klesá pevnost betonu v tlaku, ale ještě výrazněji však klesá modul pružnosti betonu a pevnost v tahu. [22]

Doba prvního projevu AKR na povrchu betonu bývá podle chemických a fyzikálních podmínek velmi různá, přibližně v rozmezí od 5 do 40 let, v dlouhodobém vývoji alkalicko-křemičité reakce se skrývá také její nebezpečnost. [22]

2.1.3. Sanace betonových podlah

Sanace starých či poškozených betonových podlah, bývá většinou časově méně náročným a finančně přijatelnějším řešením, než vybourání původní plochy, provedení nové betonové vrstvy a její povrchová ochrana. Dnešní firmy provádí sanaci např. chemicky rozrušených podlah nebo zkorodovaných podlah, sanaci zaolejovaných povrchů či rekonstrukci podlah s trvale vlhkým nebo morkým podkladem. [16]

Systémy sanace podlah:

- Vrstvená epoxidová stěrka s přesypem křemičitého písku
- Plasbeton
- Speciální materiály na bázi cementu

Aplikace:

Návrh sanace betonové podlahy vychází z příčin poškození a degradace předmětné konstrukce, kde toto poškození je kladeno do časové osy. Nejčastější poruchy průmyslových podlah jsou trhliny, výtluky, prášení betonu, odlupování nátěrů nebo stěrek, poškození chemickými vlivy nebo ropnými produkty. [16]

2.2. Anorganická pojiva

Anorganická pojiva bývají většinou látky práškového charakteru, které po smíchání s vodou spojují hrubší zrnité materiály do soudržného celku. Charakteristickým anorganickým pojivem je portlandský cement, tvořící s vodou tekutou suspenzi, která úplně ztvdne za přibližně 28 dní. Po dobu jedné hodiny, kdy je směs ještě tvárná se k tekuté suspenzi přidává v určitém poměru drobné kamenivo či písek (3 – 8 násobek), vzniklá kašovitá směs se míchá a dle účelu se tvaruje ve formách, např. do tvaru obrubníků nebo stavební konstrukce. Na vzduchu dochází k vytvrzení a vzniká betonový výrobek, který je po vytažení z formy vysoce pevný, soudržný a objemově stálý. Betonové produkty nebo stavební keramiku (cihly apod.) lze za pomoci stavebních pojiv dále spojovat do větších celků. [1]

Spojením zrnitých materiálů a anorganických pojiv je dáno adhezí jejich povrchů. Principem adheze jsou interakce probíhající mezi molekulami (atomy) povrchů, za předpokladu jejich přiblížení na dostatečně krátkou vzdálenost. Čím větší část povrchů pojiva a zrnitého materiálu se dostane do interakce, tím je spojení pevnější. Jinými slovy: povrch zrnitého materiálu musí být tekutým pojivem dostatečně smáčen. Stupeň smáčení je dán vhodným poměrem velikostí zrn a časem vzájemného míchání. Zrna musí být rozdrčena na dostatečně jemné částice, aby natekla do všech pórů materiálu. V případě, že nedojde k vyplnění pórů pojivem, bude klesat pevnost výrobku. Také po přidání velkého množství vody k pojivu dochází k tomu, že do pórů místo pojiva nateče voda. Ta se odpaří a pór zůstane nevyplněn. [1, 3]

Pórovité materiály se však mnohdy vyrábí záměrně, např. při výrobě pórobetonu, když chceme vytknout jejich izolační vlastnosti před pevnostními charakteristikami. [1]

Podle použití můžeme rozdělit anorganická pojiva na stavební neboli maltoviny (cement, vápno, sádra) a na technická (např. vodní sklo). Dále dělíme stavební pojiva podle prostředí, ve kterém jsou schopná ztvdnout a to na vzdušná pojiva (např. vzdušné vápno, sádra) a na pojiva hydraulická (cementy). Vzdušná pojiva jsou schopna tvrdnout na vzduchu, ale ztvrdlá nejsou moc odolná vůči vodě. Hydraulická pojiva ztvrdnou ve vodě i na vzduchu a ve ztvrdlém stádiu trvale odolávají působení vody. [1]

Zásadní nevýhodou anorganických pojiv je možnost jejich koroze, vlivem fyzikálního (zejména povětrnostního), chemického a biologického působení. Tyto vlivy způsobují v dlouhodobém časovém úseku snížení pevnosti pojiv. [1]

2.2.1. Stavební pojiva

Cement

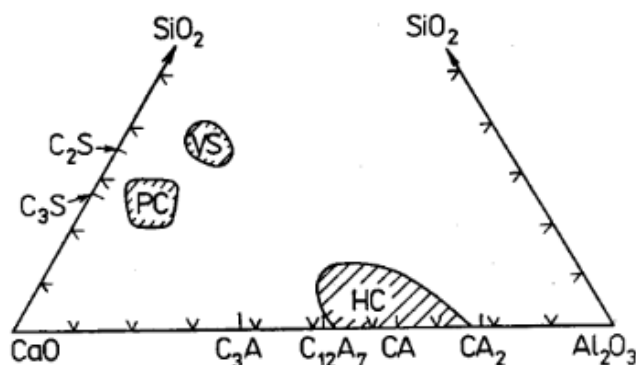
Cement je hydraulické práškové pojivo, u něhož jsou sloučeniny CaO s SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 , popřípadě jiné sloučeniny obdobného typu hlavními účinnými složkami. Dle chemického hlediska (převažující aktivní složky) lze různé druhy cementu rozdělit do tří základních skupin:

- a) křemičitanové cementy, u nichž je nejdůležitějším zástupcem portlandský cement
- b) hlinitanové cementy, s převahou hlinitanu vápenatých
- c) jiné cementy, např. železitanový, chromitanový a další.

Největší význam z výše uvedených má portlandský cement. [3, 4]

Příbuzné složením, avšak odlišné způsobem výroby a mechanismem tuhnutí jsou cementy z přírodních nebo umělých hydraulických surovin (např. ze strusky). Hlinitanový cement se vyrábí pouze ve vymezeném rozsahu, především k použití do žárobetonů. Cementy poslední skupiny jsou, mimo hlinitoželezitanových cementů bez většího technického využití. [4]

Cementy prvních dvou skupin patří podle složení do soustavy $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ s obsahem malého množství jiných minoritních složek. Jelikož obsah Fe_2O_3 je (kromě železitanového cementu Ferrariho) docela nízký, je možno oblasti složení cementů znázornit v tříložkovém systému $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ (obr. č. 9). Složení, které jsou mimo uvedené oblasti, mají pouze mírné nebo prakticky nevyužitelné pojivové vlastnosti. [4]



Obr. č. 9

Oblasti složení portlandského cementu (PC), bazické vysokopecní strusky (VS) a hlinitanového cementu (HC); $\text{C}_3\text{A} = 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ atp. [4]

Portlandský cement

V pojmu portlandský cement je obsažena řada druhů s modifikovaným složením. Jejich společnou charakteristikou je:

a) výrobní postup, který záleží na výpalu směsi surovin do slinutí; čímž vzniká tzv. Slínek. Ze slínku se pomocí jemného mletí získává portlandský cement (zkráceně p – cement, PC);

b) mineralogické (fázové) složení, které vzniká v surovinové směsi vysokoteplotními reakcemi; produktem je heterogenní hmota, která obsahuje zejména křemičitany a v menším rozsahu hlinitany a železitany vápníku. Dále obsahuje také skelnou fázi. Chemické složení průmyslově vyráběných portlandských cementů se pohybuje obvykle v těchto mezích: 62 – 67% CaO, 18 – 24 SiO₂, 4 – 8% Al₂O₃, 1,5 – 4,5% Fe₂O₃, 0,5 – 4% MgO, 0,1 – 1,5% K₂O, 0,1 – 1% Na₂O (% hm.). [4]

Překročení těchto mezí složení je přípustné u speciálních cementů, jejichž vlastnosti jsou od běžného portlandského cementu odlišné. Příkladem jsou tzv. bílé cementy, které mají nižší obsah Fe₂O₃; cementy s menším hydratačním teplem a cementy se zvýšenou odolností proti chemickým vlivům mají nižší obsah Al₂O₃ apod. [4]

Suroviny k výrobě slínku

Mezi základní suroviny k výrobě slínku patří vápenec a hlíny nebo jíly, nejčastěji používané jsou kaolinitické, které vnášejí do směsi SiO₂ a Al₂O₃. Vápenec je nejvýhodnější surovinou, jelikož je již v ložisku prostoupen těmito látkami. [4]

Vsázka obsahuje 76 až 78% CaCO₃; v případě že vysokoprocentní vápenec je základní složkou, je nezbytně nutné provedení korekce surovinou chudou na CaCO₃, obsahující pokud možno SiO₂, Al₂O₃ a Fe₂O₃ ve vhodném poměru (zvětralé partie a skrývka z ložiska) [4]

Slínek by neměl mít více než 6 % hmot. MgO, neboť právě obsah této složky je příčinou rozpínání po ztuhnutí cementu, což způsobuje snížení pevnosti. Přítomnost P₂O₅, PbO, ZnO aj., při větším množství i alkalické oxidy a sírany, jsou také nežádoucí a škodlivé. [4]

Složení surovinové směsi

Vlastnosti produktu závisí kromě chemického složení, tj. zejména poměr základních složek CaO, SiO₂, Al₂O₃ a Fe₂O₃, také na úpravě slínku mletím a na způsobu tepelného zpracování (podmínkách vysokoteplotních reakcí), popřípadě přidavku dalších složek k cementu.[4]

Hlavní cílem je, aby zreagoval všechn CaO při tepelném zpracování na sloučeniny, které jsou schopné hydraulického tuhnutí. Těchto sloučenin je však pouze omezený počet a celý proces výroby, od sestavení směsi přes výpal, až po chladnutí, musí být směřován tak, aby vznikaly tyto požadované sloučeniny: 3 CaO . SiO₂(C₃S), 2 CaO . SiO₂(C₂S), 3 CaO . Al₂O₃(C₃A) a 4 CaO . Al₂O₃ . Fe₂O₃(C₄AF). [4]

Tento fakt se původně vyjadřoval empirickými pravidly, tzv. moduly, které charakterizovaly poměr daných složek ve směsi surovin, resp. ve slínku (hmot. % oxidů):

Hydraulický modul:

$$M_H = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Silikátový modul:

$$M_S = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Hlinitanový modul:

$$M_A = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad [4]$$

Chemické a fyzikální procesy při tvorbě slínku

Sestavená směs surovin podle uvedených principů společným mísením nebo mletím, je zahřívána na teploty kolem 1 450 °C. Voda se ze směsi odstraňuje postupným zvyšováním teploty, její obsah je asi 2% u suchého způsobu, 12 až 13% u způsobu polosuchého (např. Lepol) a 30 až 40% u surovinových vodních suspenzí (kalů). Kolem 200°C je sušení ukončeno. Významné procesy pro tvorbu slínku, začínají při teplotách podstatně vyšších. Jsou to:

- rozklady pevných látek (dehydratace jílových minerálů, rozklad $CaCO_3$);
- vzájemné reakce složek v pevném stavu, později za účasti taveniny;
- tání eutektik, rozpouštění pevných látek v tavenině; [4, 5]

Výroba slínku

Hlavní operace při výrobě cementu jsou:

- drcení, mletí a mísení surovin;
- tepelné zpracování surovin na slínek (rotační pec);
- mletí slínku s příměsmi na cement.

Podle způsobu, kterým dochází k mísení surovin rozlišujeme suchý a mokrý výrobní postup. [4, 5]

Mokrý způsob výroby cementu:

Za sucha je drcen vápenec a následně se mele za mokra, nejčastěji v bubnových mlýnech. Ke třídění kalu jsou používány vibrační třídiče. Obsah vody je v surovinovém kalu mezi 33 až 40 %. Kal se ukládá v kalových nádržích, kde je konstantně promícháván (pneumaticky, mechanicky), čímž se homogenizuje. Dále se homogenizovaný kal přesouvá do menších zásobníků, odkud směřuje do pecí, kde se následně vysušuje a pak vypaluje do slinutí. Výroba mokrým způsobem má výhodu v tom, že vstupní suroviny není třeba sušit a surovina se lépe mele, což výrazně snižuje spotřebu energie. Je tím také zlepšena homogenizace suroviny a usnadněna příprava, díky použití vody je snížena prašnost v pracovním prostředí. Mokrý způsob má však i své nevýhody, velká spotřeba vody je hlavní nevýhodou a následně tepla na vysušení kalu před výpalem. Tento způsob je vhodný především pro pórovité, měkké, suroviny s vyšší vstupní vlhkostí a také pro suroviny s kolísavým chemickým složením. [6]

Suchý způsob výroby cementu:

U tohoto způsobu musí být suroviny před výpalem vysušeny. Sušení probíhá před mletím nebo současně s mletím v tzv. sušících mlýnech. Poté je surovina dopravena do zásobníků (sil), kde se homogenizuje. Po přehřátí spaliny se práškovitá směs zpravidla dopravuje do pece, kde probíhá samotný výpal. Suchý způsob má hlavní výhody ve vysoké výkonnosti výroby a vysoké tepelné účinnosti vypalovacího procesu díky tomu, že surovinová směs je přehřívána spaliny před výpalem. Další výhodou je podstatně nižší spotřeba tepla při pálení a sušení surovinové směsi: 3100 – 3700 kJ oproti 5500 – 6300 kJ na 1kg slínku při mokrému způsobu výroby. Největší využití suchého způsobu výroby je zejména pro tvrdé suroviny s nízkou vstupní vlhkostí a méně kolísavým chemickým složením. [6]

2.2.2. Beton

Beton je materiál moderní doby a je to jeden z nejrozšířenějších produktů lidské společnosti. Beton se aplikuje prakticky všude, neboť je užíván při realizaci téměř každého inženýrského díla. [2]

Beton považujeme za kompozitní materiál, který se skládá z hrubého zrnitého materiálu (hrubého a drobného kameniva), který je spojen pojivem, vyplňujícím mezery zrny kameniva. Jako kamenivo se užívá především přírodní kamenivo (horniny), ale i řada dalších materiálů. Jako pojivo se používá především portlandský cement, ale užívají se také pojiva jako jsou např. hlinitanové cementy, epoxidy aj. [2]

V betonářské technologii rozlišujeme několik základních pojmů:

Kaše (pasta) ... cement + voda

Malta ... drobné kamenivo (jemné) + pasta

Cementový beton... kamenivo (drobné i hrubé) + pasta portlandského cementu. [2]

Cementový beton je momentálně nejpoužívanějším umělým stavivem, vzhledem k dostupnosti všech složek, jejich relativně nízkým finančním nárokům i k jednoduchosti výrobního procesu. Betonová směs (cement, kamenivo, voda) je uložena po rozmíchání do bednění, ztuhne se v tzv. čerstvý beton a poté se ponechá tuhnout a tvrdnout v materiál – beton, který má vynikající trvanlivost, únosnost, i bezpečnost při požáru. [2]

Beton je používán jako beton zpracováváný přímo na stavbě (na přímolitický beton), nebo jsou z něj za průmyslových podmínek připravovány prefabrikované betonové části (např. panely). [2]

Tabulka č. 1

Výhody a nevýhody betonu jako konstrukčního materiálu

Výhody	Nevýhody
Schopnost tvrdnutí Ekonomický materiál Odolný materiál Ohnivzdorný materiál Možnost výroby přímo na místě užití Estetické vlastnosti	Nízká pevnost v tahu ohybem Nízká tvárnost Objemově ne zcela stálý Nízký poměr mezi pevností a hmotností

[2]

Pevnost betonu a faktory, které ji ovlivňují

Beton je materiál vznikající ve směsi zatvrdnutím pojiva (v užším smyslu cementu) ve směsině kameniva a dalších složek v umělý kámen se specifickou pevností. Pevnost betonu závisí hlavně na pevnosti cementové malty. Dále také závisí na soudržnosti malty s hrubým kamenivem.[2]

Z materiálového hlediska je beton brán jako kompozitní materiál, který je složený z relativně homogenní části cementového kamene a částic kameniva. Při teoretických úvahách o pevnosti betonu je často používána dvoufázová představa o relativně homogenní cementové maltě (cement + písek), jenž obklopuje hrubé části kameniva. [2]

Pevnost betonu závisí:

- na pevnosti cementové malty (zatvrdlé)
- na pevnosti hrubých částic kameniva
- na pevnosti rozhraní cementový kámen – kamenivo [2]

U betonu je vazba cementového kamene a částic kameniva nejslabší částí struktury. Trhliny vzniklé na tomto rozhraní vznikají vždy dříve než trhliny v cementovém kameni či v částicích kameniva. Vazba mezi částicemi kameniva a cementovým kamenem má charakter Van der Walsových sil. Na tuto vazbu působí řada faktorů, např. charakter povrchu částic kameniva (u hrubých částic lze získat až o 30% vyšších pevností ve srovnání s použitím částic hladkých). [2]

Beton má znatelné rozdíly v pevnostech mezi pevností v tahu a v tlaku. Je to křehký materiál. Pevnost závisí na pevnosti všech složek a na pevnosti vazeb mezi kamenivem a cementovým kamenem. [2]

Primární představy o pevnosti betonu vycházejí z představy, že narušení betonu je způsobeno smykem (Mohr – Guestova teorie). Vzájemnému posunu částic do porušení zabráňuje nejen tangenciální soudržnost, ale i tření mezi jednotlivými částicemi. Z těchto příčin jsou vzájemně nesouměřitelné z hlediska praktického užití hodnoty pevností získané měřeními na cementových maltách, kaších a betonech. Zvláště srovnání mezi hodnotami naměřenými na maltách (směsi cementu a písku) a hodnotami naměřenými na betonech ukazují, že hodnoty naměřených pevností betonů mohou být až o 25% vyšší. [2]

Při zatížení betonu dochází k řadě jevů. Před individuálním zatížením betonu v něm existuje řada trhlin, které bývají vyvolány odmísením či segregací částic kameniva nebo ocelovou výztuží. Další trhliny vznikají na rozhraní mezi cementovým kamenem a částicemi kameniva v důsledku rozdílného modulu pružnosti. Trhliny jsou také přítomny v důsledku rozdílného tepelného chování složek betonu (tepelná expanze) a jejich různým chováním za přítomnosti vlhkosti. [2]

Beton je křehký materiál a proto v něm proces destrukce probíhá třemi stádii:

- vytváření trhlin
- pomalý růst trhlin
- rychlý růst trhlin

Právě tato tři stadia určují chování betonu při zatížení. [2]

Přestože ve vazbě kamenivo – cementový kámen existují trhliny, nemají tendenci k dalšímu růstu. Mezi 30 – 50% konečného napětí tyto trhliny sice rostou, ovšem jen velmi zvolna. Velká většina těchto trhlin se nachází na rozhraní, vytváří se jejich stabilní forma, závislost napětí – deformace začíná být nelineární. Malé trhliny se také objevují v cementovém kameni. Do matrice se trhliny rozšiřují po překročení 50% konečného napětí a vytváří se tak souvislý systém trhlin a trhliny v matrici se spojují s trhlinami na rozhraní. Po překročení 75% konečného napětí dochází k velkému růstu trhlin jak na rozhraní, tak i v matrici.[2]

Vlastním zatěžováním betonu dochází k rozkladu napětí ve hmotě této heterogenní látky. V případě, že okolní matrice je méně pevná, než částice kameniva, analýza napětí ukazuje přítomnost:

- trhlin v důsledku tahových složek napětí
- trhlin v důsledku stříhových složek napětí
- náhodných trhlin v kamenivu
- trhlin v důsledku působení tahových a stříhových složek v matrici [2]

Tato dokonalá představa o podstatě symetrického rozložení napjatostních stavů v betonu ve skutečnosti doznává významných odchylek. Hodnoty napětí i deformací jsou ve skutečnosti značně nelineárně rozloženy. [2]

Faktory ovlivňující pevnost betonu

Pevnost betonu je ovlivňována řadou faktorů:

- časem
- vodním součinitelem
- druhem cementu
- způsobem ošetřování
- kamenivem
- způsobem namáhání
- teplotou
- způsobem zpracování betonové směsi a mnoho dalšími faktory [2]

Geopolymerní betony

Materiál geopolymerní beton je takový, který jako pojivo nepotřebuje Portlandský cement. Místo něj je využita surovina, která je bohatá na hliník a křemík, např. popílek nebo vysokopecní struska. Tyto materiály se aktivují nejčastěji kombinací křemičitanu draselného nebo sodného a hydroxidu draselného nebo sodného. [7]

Hlavní dva důvody o snahu nahrazení portlandského cementu struskou nebo popílkem jsou velké množství oxidu uhličitého, který se uvolňuje do ovzduší při výrobě (na 1t cementu se uvolní cca 1t CO₂), a snaha o využití odpadového materiálu, který by skončil na skládce.[7]

Když mluvíme o pojmu geopolymer, je řeč o anorganickém polymeru křemičitanu hliníku získaném syntézou převážně hlinitých a křemičitých materiálu geologického původu nebo vedlejších produktů jako je popílek. V roce 1979 představil termín geopolymer profesor Davidovits, aby reprezentoval minerální polymery získané geochemií. Postupem času se tento pojem zažil jako obecné označení anorganických polymerních sloučenin. Polymerizace zahrnuje chemickou reakci za vysoce alkalických podmínek na Al-Si minerály, výsledné polymerní vazby Si-O-Al-O lze popsat:

$M_n [- (Si - O_2)_z - Al - O]_n . wH_2O$ kde M je alkalická složka (K⁺, Na⁺, Ca²⁺), symbol – označuje vazbu, z je 1, 2 nebo 3, a n je počet jednotek v řetězci [7].

Vlastnosti geopolymerních betonů

Vlastnosti těchto betonů jsou ovlivňovány především volbou použitého cementujícího materiálu (jeho velikost částic, chemické složení, obsah CaO), dále typem alkalického aktivátoru a také způsobem a dobou výroby. Geopolymerní betony, které jsou zhotoveny z kalcinovaných materiálu, jako je struska, popílek, metakaolin atd., dosahují vyšších pevností v tlaku v porovnání s materiály nekalcinovanými, jako je kaolinitický jíl. Mezi primární přednosti těchto materiálu patří:

- · žáruvzdornost
- · mrazuvzdornost – 300 až 1300 zmrazovacích cyklu
- · vodotěsnost
- · vysoká chemická odolnost
- · vysoká pevnost a odolnost
- · malé dotvarování a hydratační smrštění u geopolymerních popílkových betonů [7]

Geopolymer má u geopolymerních betonů funkci pojiva. Při výrobě geopolymerního betonu jsou využívány stejné technologie jako při výrobě běžného betonu. Největší objem zabírá stejně jako v běžných betonech plnivo, okolo 75 – 85% hmotnosti. Nevýhodami geopolymerních betonů jsou:

- velké hydratační smrštění u alkalicky aktivovaných struskových betonů
- rychlejší karbonatace než u betonu na bázi portlandského cementu
- tvorba výkvětu na povrchu [7]

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této části práce, jsou popsány metody přípravy vzorků a jejich sanace. Dále popisuje použité přístroje, na kterých bylo měření uskutečněno a princip metod, které byly použity.

3.1. Použité suroviny

Tabulka č. 2

Použité suroviny

surovina	popis
cement	CEM I 42,5 (Mokrý)
písky	ČSN I - jemný
	ČSN II - středně hrubý
	ČSN III - hrubý
vodní sklo sodné	roztok křemičitanu sodného (35-36° Be)
vodní sklo draselné	roztok křemičitanu draselného (15-17° Be)
hydroxid draselný	50% hm.
tosil	koloidní roztok kyseliny křemičité ve vodě
metakaolin	Mefisto L05 (2008)
kaolin	IA - mletý, ČSN 72-1310 (Sedlec)
destilovaná voda	

3.2. Příprava vzorků

Zkušebními vzorky pro zkoušky tvrdosti nátěru a tedy i kvality sanace byly betonové destičky o rozměrech 40x100x8 mm. Směs byla připravována z cementu 42,5, písku jemné hrubosti (ČSN I), písku střední hrubosti (ČSN II), písku velké hrubosti (ČSN III) a vody. Použité suroviny byly přidávány do míchačky v pořadí: voda, cement a písky a směs byla homogenizována po dobu pěti minut. Poté byla kašovitá směs plněna do formy, kde se ponechala uschnout na vzduchu, při laboratorních podmínkách po dobu 24 hodin. Celkem bylo připraveno 66 vzorků. Díky nedokonalostem a vzniklých prasklin na povrchu vzorků, mohla být následně prováděna jejich sanace.

Připravené a suché vzorky, byly ošetřovány za pomoci štětce různými alkáliemi a jejich směsmi s jinými látkami v různých poměrech. Všechny vzorky byly potírány dvakrát, druhý nátěr byl uskutečňován vždy, až po dokonalém zaschnutí první vrstvy.

3.3. Laboratorní přístroje a metody měření

3.3.1. Laboratorní míchačka

Směsi se připravují v míchačce předepsané normou ČSN 72 2117. Míchačka sestává z míchací nádoby z nerezavějící oceli o objemu asi 4,7 l. Je opatřena úchytkami, jimiž ji lze pevně připevnit ke stojanu míchačky. Druhou částí míchačky je míchací metla. Metla se pomocí elektrického pohonu otáčí kolem své osy a současně planetárním pohybem kolem stěn míchací nádoby. Směry otáčení jsou protichůdné. Poměr počtu otáček obou pohybů nesmí poskytovat celé číslo a musí být udržován v mezích uvedených v následující tabulce. [13]

Tabulka č. 3

Meze otáček laboratorní míchačky

Rychlost otáčení	otáčky míchací metly	
	kolem osy nádoby (ot/min)	kolem stěn nádoby (ot/min)
při nízké rychlosti	140 ± 5	62 ± 5
při vysoké rychlosti	285 ± 10	125 ± 10



Obr. č. 10

Laboratorní míchačka Kitchen Aid

3.3.2. Persozovo kyvadlo

Persozovo kyvadlo spočívá na dvou kuličkách z karbidu wolframu o průměru $(5 \pm 0,005)$ mm a tvrdosti (1600 ± 32) HV. Kuličky jsou od sebe vzdáleny $(30 \pm 0,2)$ mm. Na druhé straně příčného nosníku je tyč s posuvným závažím, která slouží jako protiváha (pro nastavení přirozené frekvence kývání). Amplituda kyvadla spočívajícího na povrchu vzorku je tlumena a to tím více, čím je zkoušený vzorek měkkší. [14]

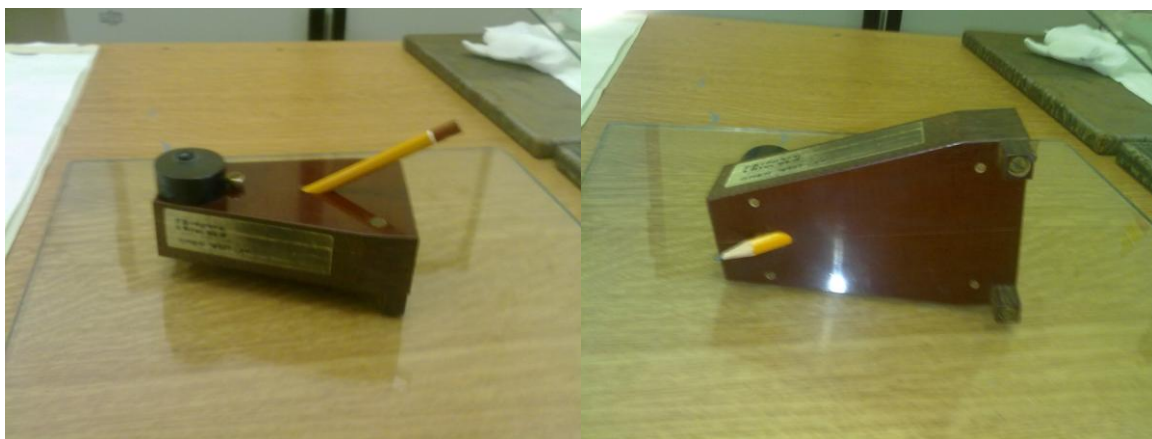
Rozsah stupnice kyvadla je $12^\circ - 4^\circ$ a doba jednoho kyvu kyvadla je jedna sekunda.



Obr. č. 11
Persozovo kyvadlo Erichsen, model 299/300

3.3.3. Tužky

Jedná se o jednoduchý přístroj, kterým se stanovuje tvrdost aplikovaného materiálu pomocí sady tužek o různé tvrdosti. Tužka je vložena do nosníku o přesně dané hmotnosti a její hrot leží pod úhlem 45° a stálým tlakem způsobeným hmotností nosníku. Tahem rukou se posunuje nosník po testované ploše a hrot tužky vytvoří na povrchu rýhu. Rýha je různé hloubky podle tvrdosti použité tužky. Vizuální metodou se poté stanoví, zda se jedná pouze o stopu, či destrukci povrchu.



Obr. č. 12
Nástroj pro měření tvrdosti aplikovaného materiálu tužkovou metodou

3.4. Stanovení tvrdosti povrchu

Pro stanovení tvrdosti povrchu bylo vybráno pouze několik vzorků, protože ne u všech bylo možno provést potřebné testy. Použité destičky byly vybrány vizuální metodou, dle vhodnosti použití pro danou metodu stanovení.

3.4.1. Stanovení povrchové tvrdosti tužkami

Povrchová tvrdost tužkami, je schopnost povrchu odolávat vtlačení hrotu tužky do vrstvy ošetrovacího filmu. Při zkoušce se zjišťuje, která tužka ze sady tužek odstupňované tvrdosti jako první poruší povrch vrstvy aplikovaného materiálu za podmínek zkoušky. [15]
Tužky jsou ořezávány a broušeny přesně podle dané normy.

Tabulka č. 3

Tabulka označení tužek ve zkušební sadě

číslo tužky	tvrdost tužky
1	3B
2	2B
3	B
4	HB
5	F
6	H
7	3H
8	4H
9	5H
10	6H
11	7H
12	8H
13	9H

3.4.2. Stanovení povrchové tvrdosti metodou útlumu kyvadla (Persozovou metodou)

Principem stanovení tvrdosti povrchu Persozovou metodou je kyvadlo spočívající na povrchu vzorku které je uvedeno do pohybu. Měřenou veličinou je doba, za kterou se zmenší amplituda výkyvu z původní hodnoty (12°) na hodnotu 4° . Čím kratší je doba útlumu, tím nižší je tvrdost materiálu. [14]

Kyvadlo se skládá z rámu spojeného příčným nosníkem, jehož spodní strana je opatřena dvěma kuličkami (viz. Obrázek č. 13), které slouží jako opěrné body. Spodní část rámové konstrukce tvoří ukazatel výchylky stupnice (viz. Obrázek č. 13). Kyvadlo se musí používat v prostředí bez proudění vzduchu a bez otřesů. [14]

Postup měření začíná kalibrací zařízení – přístroj se kalibruje postupy popsány v příslušných normách

laboratorní podmínky – zkušební vzorky se zkouší při teplotě $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $(50 \pm 5)\%$.

Měření doby útlumu kyvadla – doba útlumu kyvadla se měří ve třech různých místech toho samého vzorku. Vzorek se umístí na podložku aplikovaným filmem vzhůru a kyvadlo se zlehka položí na povrch vzorku. Kyvadlo se vychýlí do požadované polohy (12°) a to tak, aby nedošlo k bočnímu vychýlení středové spojovací tyče, a zajistí se aretací. Kyvadlo se uvolní a zároveň se začne automaticky měřit čas na zařízení pro měření času. Zaznamenán je čas, za který dojde k poklesu amplitudy z 12° na 4° . [14]



Obr. č. 13

Nosník Persozova kyvadla s vloženým zkoumaným vzorkem a ukazatel výchylky stupnice

Čas byl měřen na automatických stopkách, které byly spuštěny po odaretování kyvadla (viz. Obrázek č. 14)



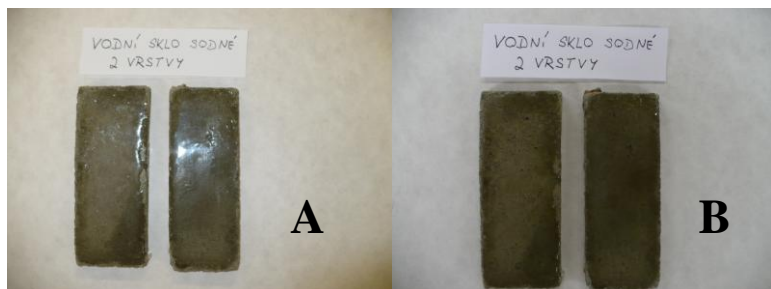
Obr. č. 14

Automatické stopky Persozova kyvadla

4. VÝSLEDKY A DISKUZE

Tato část práce obsahuje fotografie zkoumaných materiálů s popisem, čím byly materiály sanovány. Na všechny použité vzorky, byly aplikovány dvě vrstvy sanačního materiálu. Dále je zde uvedena tabulka s hodnotami tvrdosti sanačního povrchu a jejich vyhodnocení.

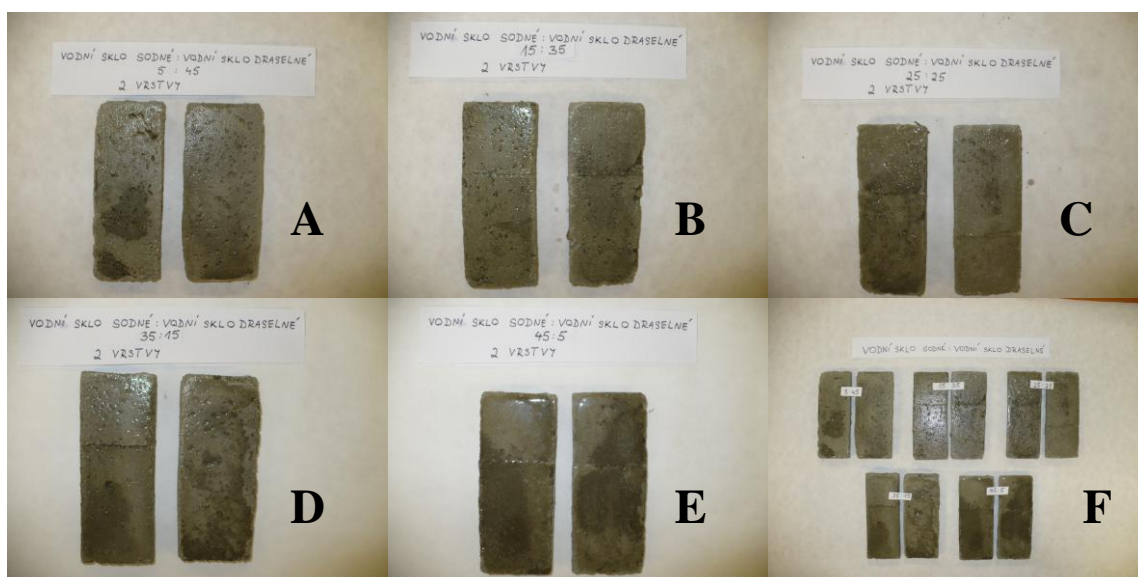
4.1. Vzorky



Obr. č. 15

Vzorky, na nichž bylo použito k sanaci vodní sklo

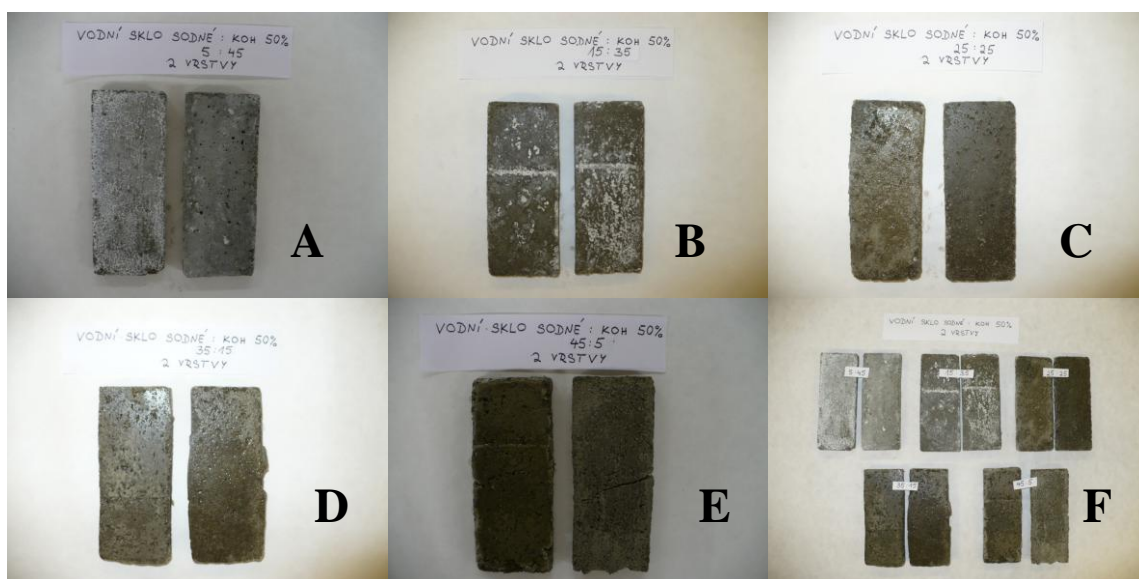
- A – vodní sklo sodné
- B – vodní sklo draselné



Obr. č. 16

Vzorky, na nichž byla použita k sanaci směs vodního skla sodného a draselného v různých poměrech

- A – poměr vodního skla sodného a draselného 5 : 45
- B – poměr vodního skla sodného a draselného 15 : 35
- C – poměr vodního skla sodného a draselného 25 : 25
- D – poměr vodního skla sodného a draselného 35 : 15
- E – poměr vodního skla sodného a draselného 45 : 5
- F – Srovnávací fotografie všech vzorků, na nichž byla použita k sanaci směs vodního skla sodného a draselného



Obr. č. 17

Vzorky, na nichž byla použita k sanaci směs vodního skla sodného a hydroxidu draselného (50% hm.) v různých poměrech

- A – poměr vodního skla sodného a hydroxidu draselného 5 : 45
- B – poměr vodního skla sodného a hydroxidu draselného 15 : 35
- C – poměr vodního skla sodného a hydroxidu draselného 25 : 25
- D – poměr vodního skla sodného a hydroxidu draselného 35 : 15
- E – poměr vodního skla sodného a hydroxidu draselného 45 : 5
- F – Srovnávací fotografie všech vzorků, na nichž byla použita k sanaci směs vodního skla sodného a hydroxidu draselného (50% hm.)



Obr. č. 18

Vzorky, na nichž byla použita k sanaci směs vodního skla (vpravo draselného, vlevo sodného) a kaolinu v různých koncentracích kaolinu v roztoku (% hm.)

- A – směs kaolinu a vodního skla sodného o koncentracích: (zleva) 1, 3, 5, 10, 15, 20% hm. kaolinu
- B – směs kaolinu a vodního skla draselného o koncentracích: (zleva) 1, 3, 5, 10, 15, 20% hm. kaolinu



Obr. č. 19

Vzorky, na nichž byla použita k sanaci směs vodního skla (vpravo draselného, vlevo sodného) a metakaolinu v různých koncentracích metakaolinu v roztoku (% hm.)

- **A** – směs metakaolinu a vodního skla sodného o koncentracích: (zleva) 1, 3, 5, 10, 15, 20% hm. metakaolinu
- **B** – směs metakaolinu a vodního skla draselného o koncentracích: (zleva) 1, 3, 5, 10, 15, 20% hm. metakaolinu



Obr. č. 20

Vzorky, na nichž byla použita k sanaci směs vodního skla sodného a vody v poměrech (1:0,5; 1:1; 1:2; 1:5; 1:10; 1:20) – zleva



Obr. č. 21

Vzorky, na nichž byla použita k sanaci směs tosilu a metakaolinu v různých koncentracích metakaolinu v roztoku (1, 3, 5, 10, 15, 20% hm.) – zleva



Obr. č. 22

Vzorky, na nichž byla použita k sanaci směs vodního skla sodného, tosilu a vody v poměrech (10:5:3,5; 10:10:5; 5:10:3,5) – zleva



Obr. č. 23

Vzorky, na nichž byla použita k sanaci směs vodního skla sodného a tosilu v poměrech (1:0,5; 1:1; 1:2) – zleva

Tabulka č. 4

Naměřené hodnoty tvrdosti aplikovaného materiálu pro sanaci zkoumaných vzorků

nátěr	čas (s)			
	1.měření	2.měření	3.měření	průměr
vodní sklo sodné + kaolin (15% hm.)	240	218	221	226
vodní sklo sodné	16	16	14	15
vodní sklo sodné + kaolin (20% hm.)	218	139	110	156
vodní sklo sodné + kaolin (3% hm.)	213	203	250	222
vodní sklo sodné + vodní sklo draselné (45:5)	14	13	14	14
vodní sklo sodné + metakaolin (20% hm.)	269	158	302	243
vodní sklo sodné + metakaolin (10% hm.)	311	237	277	275
vodní sklo draselné + metakaolin (20% hm.)	180	230	216	209
vodní sklo draselné + metakaolin (15% hm.)	139	152	161	151
vodní sklo draselné + kaolin (10% hm.)	146	240	206	197

Test zkoušky tvrdosti za pomoci sady tužek byl použit u tří vzorků. Test byl však velmi neprůkazný a proto se nepodařilo pomocí tohoto měření dosáhnout žádných reálných výsledků. Test je zastaralý a nespolehlivý, proto byla následně raději zvolena metoda útlumu kyvadla.

Metodou útlumu kyvadla bylo změřeno 10 vybraných vzorků. Nejvyšší pevnosti a tudíž i kvality sanace bylo dosaženo u vzorku ošetřeném sodným vodním sklem ve směsi s metakaolinem (10% hm. metakaolinu). Naměřené výsledky mohou být zkreslené z důvodu nedokonalé rovnosti měřeného povrchu a tudíž i možným zvyšováním tření kyvadla. Výsledky tvrdosti dalších vzorků, jsou uvedeny v tabulce č. 4.

5. ZÁVĚR

Práce studuje možnosti sanace průmyslových betonových podlah alkalickou cestou. Obsahuje také obecné poznatky o betonových podlahách, materiálů z kterých se tyto podlahy vyrábí, stručný popis výroby a také skutečnosti, jak může dojít k poškození podlahy.

Byly připraveny betonové destičky v laboratořích, na kterých se následně zkoušely aplikace různých alkalických látek a jejich směsí s cílem sanovat jejich povrch.

Cílem aplikace materiálu na vzorky bylo především zjistit, která látka nebo směs testovaných látek je nejvíce vhodná pro sanaci betonové podlahy. Kvalita sanace byla zjišťována nejprve vizuální metodou a u vybraných vzorků, které se jevily jako nejlepší sanační prostředky byly stanoveny zkoušky tvrdosti pomocí metod útlumu kyvadla a testu tvrdosti za pomoci sady tužek.

Test tvrdosti za pomoci sady tužek, byl vyzkoušen pouze na třech vzorcích a výsledky byly neprůkazné a proto z nich nelze vyvodit žádné výsledky a závěry. Metodou útlumu kyvadla byla změřena tvrdost sanačního materiálu u deseti vybraných vzorků, které byly nejvíce vhodné pro tuto metodu a jejich kvalita se jevila jako nejlepší.

Jako nejvíce vyhovující látka bylo vizuálně stanoveno vodní sklo sodné a jeho směsi s jinými surovinami, především kaolinem a metakaolinem, které vylepšovaly vlastnosti vodního skla sodného zvyšováním hustoty roztoku a následným ucpáváním prasklin a vad betonových destiček a také neméně významným snižováním finančních nároků na sanační materiál. Největší tvrdost a tudíž i kvalita byla stanovena u směsi vodního skla sodného a metakaolinu (směs obsahovala 10% hm. metakaolinu). Díky vysoké hodnotě tvrdosti, která u této aplikované sanační směsi byla naměřena, lze vyvodit, že materiál je vhodný i pro průmyslové podlahy u kterých dochází k velkému mechanickému zatížení. Další materiály, u kterých ještě byla zjištěna poměrně vysoká tvrdost jsou směsi vodního skla sodného s kaolinem o koncentraci kaolinu v roztoku 3% hm. a 15% hm., dále směs vodního skla draselného s metakaolinem (20% hm. metakaolinu) a směs vodního skla sodného s metakaolinem (20% hm. metakaolinu). I tyto směsi by mohly být označeny za vhodné pro sanaci betonových podlah s nárokem na vysokou mechanickou odolnost.

Naopak nejnižší tvrdosti v testech dosáhla směs vodního skla sodného a vodního skla draselného a to v poměru 45:5. I když se použitá směs na pohled jevila jako vhodná pro použití, tak díky velmi nízké tvrdosti a tudíž i odolnosti není zrovna ideální pro sanaci průmyslových podlah u kterých jsou kladeny na tyto parametry vysoké nároky. Další sanační materiál u kterého byla zjištěna nízká odolnost je samotné vodní sklo sodné. Jak lze vidět v tabulce č. 4, tak hodnoty tvrdosti těchto dvou aplikovaných a testovaných materiálů jsou až 20x nižší než u jiných testovaných sanačních materiálů, které byly popsány výše.

6. POUŽITÁ LITERATURA

[1] KRATOCHVÍL, Bohumil; ŠVORČÍK, Václav; VOJTĚCH, Dalibor. *Úvod do studia materiálů*. Praha : Vysoká škola chemicko technologická v Praze, 2005. 190 s. ISBN 80-7080-568-4.

[2] ŠKVÁRA, František. *Technologie anorganický pojiv II*. Praha : Vysoká škola chemicko technologická v Praze, 1995. 184 s. ISBN 80-7080-225-1.

[3] ŠKVÁRA, František. *Technologie anorganický pojiv I*. Praha : Vysoká škola chemicko technologická v Praze, 1995. 151 s. ISBN 80-7080-224-3.

[4] HLAVÁČ, Jan. *Základy technologie silikátů*. 2. upravené vydání. Praha : SNTL - nakladatelství technické literatury, 1988. 520 s.

[5] ŠATAVA, Vladimír . *Fyzikální chemie silikátů II*. Praha : Vysoká škola chemicko technologická v Praze, 1987. 207 s.

[6] Jirásek, J., Vavro, M.: *Nerostné suroviny a jejich využití*. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1378-3

[7] HARDJITO D., WALLAH S.E., SUMAJOUW D.M.J., RANGAN B.V., prosinec 2004, *Fly Ash-Based Geopolymer Concrete, Construction Material for Sustainable Development*

[8] *Statik - projektant* [online]. 2010 [cit. 2011-05-02]. Průmyslové betonové podlahy - vymezení pojmů. Dostupné z WWW: <<http://www.statik-projektant.cz/>>.

[9] *Needful s.r.o* [online]. 2008-3-6 [cit. 2011-05-02]. Betonové průmyslové podlahy. Dostupné z WWW: <www.needful.cz>.

[10] TŮMA, Petr; DOHNÁLEK, Jiří. *ASB* [online]. 2010 [cit. 2011-05-02]. Odborný portál. Dostupné z WWW: <<http://www.asb-portal.cz/>>.

[11] *Naše info* [online]. 2009 [cit. 2011-05-02]. Návod, rady... Dostupné z WWW: <<http://www.naseinfo.cz/>>.

[12] PICKA, Bohumír. *Betongletr* [online]. 2010 [cit. 2011-05-02]. Betonové podlahy, průmyslové betonové podlahy. Dostupné z WWW: <<http://www.betongletr.cz>>.

[13] SOLIK, J.; Studium možnosti přípravy syntetických pískovců. Brno, 2010. 38 s.

Bakalářská práce na Fakultě chemické Vysokého učení technického v Brně, Ústav chemie materiálů.

[14] ČSN EN ISO 1522. *Nátěrové hmoty - zkouška tvrdosti nátěru tlumením kyvadla*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 16 s.

[15] ČSN 67 3075. *Stanovení povrchové tvrdosti tužkami*. Praha : Český normalizační institut, 1991. 8 s.

[16] *Efisan* [online]. Plzeň : 2011 [cit. 2011-05-02]. Průmyslové podlahy, sanace a izolace staveb. Dostupné z WWW: <<http://www.efisan.cz/>>.

[17] *Kompozit* [online]. 2010 [cit. 2011-05-02]. Průmyslové podlahy, lité podlahy, epoxidové podlahy. Dostupné z WWW: <<http://www.kompozit.cz>>.

[18] *K2P stavby* [online]. 2009 [cit. 2011-05-02]. Stavební a poradenská činnost. Dostupné z WWW: <<http://www.k2pstavby.cz>>.

[19] Hošek, J.: Měření počátečních objemových změn betonu v pryžové vlnovcové formě. In: *Stavební výzkum*, roč. 3, 1986, s. 28–32.

[20] Tazawa, E.: *Committee Report. Proceedings of the International Workshop organized by JCI (Japan Concrete Institute) – Autogenous Shrinkage of concrete (Hiroshima, June 13.–14. 1998) – p. 1–68. London: E&FN Spon, 1999.*

[21] ŽALSKÝ, Petr. *Průmyslové betonové podlahy*. Praha, 2003. 87 s. Rigorózní práce. České vysoké učení technické v Praze.

[22] FOJTÍK, Tomáš . *Současný stav problematiky alkalicko-křemičité reakce v betonu a metody její detekce* [online]. Brno : VUT Brno, 2004. 6 s. Seminární práce. VUT FAST Brno. Dostupné z WWW: <www.fce.vutbr.cz>.